



示范院校国家级重点建设专业

■ 建筑工程技术专业课程改革系列教材

——学习领域十

混凝土工程施工 与组织

主 编 郝红科



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

示范院校国家级重点建设专业

■ 建筑工程技术专业课程改革系列教材

——学习领域十

混凝土工程施工与组织

主 编 郝红科



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

本教材是示范院校国家级重点建设专业——建筑工程技术专业课程改革系列教材之一。根据我国高职教育的特点,结合德国的过程教学模式,构建了符合建筑行业特色的教学体系和课程改革的基本思想,按照岗位要求和职业能力标准,分析混凝土工程的施工过程,完成《混凝土工程施工与组织》的行动领域。本书共分为三个学习情境:混凝土工程入门、混凝土构件施工、混凝土结构工程施工。本书在编写时注意以工作过程为导向,注重新标准、新规范的应用,广泛吸纳新技术,突出高职教育的特色,注重“工学结合”。

本书可供高等职业技术学院建筑工程技术专业、普通高等院校土木工程专业、建筑行业施工技术人员使用,也可作为其他相近专业的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

混凝土工程施工与组织 / 郝红科主编. —北京: 中国水利水电出版社, 2009

(示范院校国家级重点建设专业、建筑工程技术专业课程改革系列教材. 学习领域十)

ISBN 978-7-5084-6675-0

I. 混… II. 郝… III. ①混凝土施工-施工技术-高等学校-教材②混凝土施工-施工组织-高等学校-教材
IV. TU755

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 124779 号

书 名	示范院校国家级重点建设专业 建筑工程技术专业课程改革系列教材——学习领域十 混凝土工程施工与组织
作 者	主编 郝红科
出版发行	中国水利水电出版社 (北京市海淀区玉渊潭南路 1 号 D 座 100038) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn 电话: (010) 68367658 (营销中心)
经 售	北京科水图书销售中心(零售) 电话: (010) 88383994、63202643 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	北京瑞斯通印务发展有限公司
规 格	184mm×260mm 16 开本 10.75 印张 255 千字
版 次	2009 年 7 月第 1 版 2009 年 7 月第 1 次印刷
印 数	0001—1300 册
定 价	40.00 元

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社营销中心负责调换

版权所有·侵权必究

前言

本教材是示范院校国家级重点建设专业——建筑工程技术专业课程改革系列教材之一。人才培养模式的改革是专业改革的前提，本专业的改革实施方案是在德国的过程教学模式的基础之上，结合我国高职高专的实际情况和建筑工程技术专业的教学经验，构建了符合建筑行业实际、具有“工学结合”特色的以工作过程为导向的人才培养方案。根据教学改革实施方案和课程改革的基本思想，通过分析混凝土工程的施工过程，结合岗位要求和职业能力标准，形成了混凝土工程的行动领域，将原学科体系进行分解，按照过程教学的思路重新构建，基于混凝土工程施工过程将施工过程中所需要的知识、能力和素质重新构成学习领域——《混凝土工程施工与组织》，该学习领域涉及学科体系中的《建筑材料》、《砖混结构》、《建筑识图》、《施工组织与设计》、《质量管理》等课程，该学习领域共 90 学时。

本教材在编写时，以过程教学为主线，突出建筑行业实际，体现建筑行业人才市场对人才的需求，充分体现建筑专业的核心能力和专业技能；在内容编排时，以混凝土组成材料→材料性能→配合比设计→浇筑养护→质量检验为主线构建了一个完整的工作过程；在编写过程中，突出了“以就业为导向、以岗位为依据、以能力为本位”的思想；明确理论教学、实践教学、专业实训的教学时数，依据校内实训基地、校外实训基地、模拟或现实混凝土工程施工情景，编写大量的工作页和学习页，注重学生职业能力训练和综合素质培养，尊重学生的个性发展。“以教师为主”向“以学生为主”转变，把孤立的理论和实践教学向过程教学的统一融合转变。

本学习领域由杨凌职业技术学院郝红科副教授主编并统稿、由中国水电第十五工程局总工程师何小雄高工主审、全书由 3 个学习情境、9 个学习单元组成，由以下人员完成：杨凌职业技术学院郝红科编写学习情境 1；西北农林科技大学材料检测中心张惠丽、杨凌职业技术学院宋冰编写学习情境 2；陕西省建筑总公司第一分公司程华安、西安市灞桥区河道管理站王海编写学习情境 3。在编写的过程中，专业建设团队的领导和其他同仁给予了极大的帮助和支持，并提出许多宝贵意见，杨凌职业技术学院领导及教务处也给予了大力支持，同时西北农林科技大学水利与建筑学院姜宗科也给予了大力支持，在此表示最诚挚的感谢。

本教材引用了大量的规范、专业文献和资料，恕未在书中一一注明，在此，对有关作者表示诚挚的谢意。

本教材是在“过程教学模式”的基础上编写的，其内容体系的编写方法在国内属首次尝试，体系的构建有很多不妥之处，同时由于作者本身对过程教学的理解水平有限，恳请广大师生和读者对书中存在的缺点和疏漏，提出批评指正，编者不胜感激。

编者

2008 年 10 月

课程描述表

学习领域十：混凝土工程施工与组织 第二学年第一学期 基本学时：90 学时 其中：理论 45 学时、校内实训 30 学时、企业实训 15 学时		
学习目标 ● 能够熟练进行混凝土和易性测定并对组成混凝土原材料进行选择； ● 能够熟练计算混凝土初步配合比、基准配合比、室内配合比和施工配合比； ● 能够对混凝土拌和物进行坍落度测定与和易性优劣的判断； ● 能够完成普通混凝土、高性能混凝土、泵送混凝土的配合比设计及拌制运输； ● 能够进行混凝土构件在浇筑过程中出现的质量问题的处理； ● 能够编制预应力混凝土的施工工艺及预应力混凝土典型构件的施工； ● 能制定混凝土的运输方案、浇筑方案、振捣方案；板、梁、柱、楼梯、基础等构件的施工及质量控制； ● 能够检测混凝土室内强度、室外构件的现场检测； ● 能够进行混凝土结构工程施工组织设计、施工方案编制、安全质量措施，并能掌握相关质量标准与安全保护规程； ● 能对钢筋混凝土结构进行质量检测，会使用检测仪器，填写质检表； ● 能描述混凝土自然养护方法及注意事项； ● 能够掌握混凝土工程施工的一般要求和不同构件的施工方法，掌握质量管理办法和质量监控； ● 能够独立学习和工作，能够进行交流，并有团队合作精神与职业道德； ● 能描述安全生产、文明施工、环境保护的相关规定及内容		
内容 ◆ 混凝土组成及其特点； ◆ 混凝土原材料及标准； ◆ 混凝土强度与标号，强度等级划分标准； ◆ 配合比、水灰比、砂率、外加剂、最大粒径； ◆ 密度、粘聚性、保水性、骨料离析； ◆ 施工准备工作； ◆ 混凝土生产工艺； ◆ 混凝土浇筑工序和质量要求； ◆ 混凝土结构施工组织； ◆ 工程量计算及材料计划； ◆ 普通混凝土、高性能混凝土、泵送混凝土、预应力混凝土施工； ◆ 混凝土养护； ◆ 混凝土结构质量检测与评定	方法 ◆ 讲解； ◆ 小组讨论； ◆ 实训室实训； ◆ 小组工作； ◆ 总结提升； ◆ 现场； ◆ 实训； ◆ 设备操作演练； ◆ 模拟工作过程； ◆ 项目教学； ◆ 企业实训	
媒体 ■ 混凝土配合比练习页； ■ 工程图； ■ 施工方案工作页； ■ 录像、多媒体； ■ 质检表格页	学生需要的技能 ■ 建筑力学与结构； ■ 计算机相关技能； ■ 建筑制图与识图； ■ 施工进度计划的编制； ■ 质量验收； ■ 建筑材料、测量	教师需要的技能 ■ 具有教师资格的学士/硕士； ■ 工程实践经验； ■ 建筑学； ■ 项目管理； ■ 施工规范与操作规程； ■ 质量检测

目 录

前言

课程描述表

学习情境 1 混凝土工程入门	1
学习单元 1.1 混凝土的组成及其性能	1
1.1.1 学习目标	1
1.1.2 学习任务	1
1.1.3 任务分析	1
1.1.4 任务实施	1
1.1.4.1 混凝土的组成及其特点	1
1.1.4.2 混凝土的主要技术性能	2
学习单元 1.2 混凝土原材料的选择	6
1.2.1 学习目标	6
1.2.2 学习任务	6
1.2.3 任务分析	6
1.2.4 任务实施	7
1.2.4.1 水泥选择	7
1.2.4.2 骨料选择	12
1.2.4.3 外加剂选择	19
学习单元 1.3 混凝土施工配合比设计及其施工	27
1.3.1 学习目标	27
1.3.2 学习任务	27
1.3.3 任务分析	27
1.3.4 任务实施	27
1.3.4.1 普通混凝土配合比设计及其施工	27
1.3.4.2 高性能混凝土配合比设计及其施工	40
1.3.4.3 泵送混凝土配合比设计及其施工	50
学习单元 1.4 混凝土强度的测定及其他性能	63
1.4.1 学习目标	63
1.4.2 学习任务	63
1.4.3 任务分析	64
1.4.4 任务实施	64

1.4.4.1 室内试块强度测试	64
1.4.4.2 混凝土构件现场强度检测技术	66
1.4.4.3 影响混凝土强度的因素	67
1.4.4.4 混凝土其他性能	75
学习情境 2 混凝土构件施工	82
学习单元 2.1 混凝土构件施工的一般要求	82
2.1.1 学习目标	82
2.1.2 学习任务	82
2.1.3 任务分析	82
2.1.4 任务实施	82
2.1.4.1 混凝土浇筑的一般要求	82
2.1.4.2 混凝土的养护	91
2.1.4.3 拆除模板	96
学习单元 2.2 常见混凝土构件的施工	97
2.2.1 学习目标	97
2.2.2 学习任务	97
2.2.3 任务分析	98
2.2.4 任务实施	98
2.2.4.1 楼板的施工	98
2.2.4.2 混凝土柱的施工	101
2.2.4.3 混凝土基础的施工	103
2.2.4.4 混凝土楼梯的施工	112
2.2.4.5 混凝土墙体的施工	114
学习单元 2.3 预应力混凝土构件施工	116
2.3.1 学习目标	116
2.3.2 学习任务	116
2.3.3 任务分析	116
2.3.4 任务实施	116
2.3.4.1 预应力混凝土工程施工一般要求	116
2.3.4.2 预应力施加的方法	118
2.3.4.3 预应力屋架施工	120
2.3.4.4 预应力 T 形吊车梁施工	123
2.3.4.5 预应力鱼腹式吊车梁施工	125
2.3.4.6 预应力圆孔板的施工	127
2.3.4.7 预应力构件的质量要求	129
学习情境 3 混凝土结构工程施工	132
学习单元 3.1 混凝土框架结构施工	132

3.1.1	学习目标	132
3.1.2	学习任务	132
3.1.3	任务分析	132
3.1.4	任务实施	132
3.1.4.1	施工前的准备工作	132
3.1.4.2	钢筋混凝土框架结构工程施工准备	134
3.1.4.3	钢筋混凝土框架结构工程施工组织设计	135
3.1.4.4	框架结构工程施工	142
学习单元 3.2 混凝土框架结构施工质量管理		158
3.2.1	学习目标	158
3.2.2	学习任务	159
3.2.3	任务分析	159
3.2.4	任务实施	159
3.2.4.1	全面质量管理体系	159
3.2.4.2	全面质量管理的基本方法	160
参考文献		163

学习情境 1 混凝土工程入门

学习单元 1.1 混凝土的组成及其性能

1.1.1 学习目标

混凝土是建筑工程中使用最广泛的建筑材料，为适应不同工作条件、工作环境和施工技术产生了不同性能的混凝土，但其组成材料基本相同。由于不同性能的混凝土对原材料的要求是不相同的，应明确不同性能混凝土对构成原材料的要求。和易性是混凝土拌和物的主要技术指标，其测试方法主要有坍落度法和维勃稠度法。

1.1.2 学习任务

掌握混凝土组成的主要原材料、建筑用混凝土的特点及其性能的测试方法。在对测试方法理解的基础上，能按照相关标准测定混凝土拌和物坍落度或对于硬性混凝土拌和物的测定。

1.1.3 任务分析

混凝土的组成材料主要为水泥、砂石、水以及外加剂组成的混合物，在建筑工程中通过改变混凝土组成材料中各组分的含量来改变混凝土的性能；对混凝土拌和物的性能测试主要通过坍落度来测试。

1.1.4 任务实施

1.1.4.1 混凝土的组成及其特点

普通混凝土是以水泥为胶凝材料，以砂、石为骨料加水拌和，经浇筑成型、凝结硬化形成的人造石材，其结构如图 1.1 所示。其中水泥和水构成水泥浆，包裹在骨料表面并填充砂的空隙形成砂浆，砂浆包裹石子颗粒并填充石子的空隙形成混凝土。在混凝土硬化前，水泥浆包裹骨料表面使混凝土拌和物具有一定的和易性，使拌和物便于浇筑施工。水泥浆硬化后，将骨料胶结成一个坚实的整体。混凝土中的砂称为细骨料，石子称为粗骨料。粗、细骨料一般不与水泥浆发生化学反应，其作用是构成混凝土骨架，并对混凝土的变形起一定的抑制作用。

为了改善混凝土的某些性能还常加入适量的外加剂和掺合料，外加剂和掺合料又称为混凝土的第五组分和第六组分，它们在混凝土硬化前能显著改善拌和物的和易性，满足了现代施工工艺、新型施工方法对混凝土拌和物的高和易性要求。因此，配制泵送混凝土、高性能混凝土时外加剂和掺合料是必不可少的。硬化前混凝土拌和物的和易性与硬化后混凝土的强度、耐久性等主要技术性质，在很大程度上是由混凝土组成材料的性质及其相对含量决定的。同时也与施工工艺（搅拌、运输方式、成型、养护等）有关。为了保证混凝土具有良好的技术性质，降低

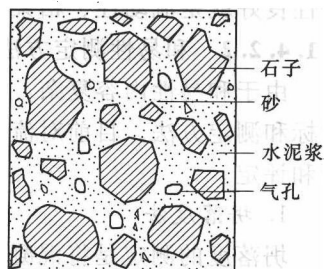


图 1.1 混凝土内部结构



工程造价,必须合理地选择组成混凝土的各种原材料和组成比例。

混凝土是目前土木工程中最大宗的建筑用材,应用范围广、适应性强。除组成混凝土的原材料来源广泛,符合就地取材和经济等原则外,在使用中还有以下几个方面的优点:①适应性广、强度高、耐久性好、维修费用低;②可根据工程要求,调整其配合成分,使其具有不同的物理力学性质;③混凝土拌和物具有可塑性,可制成形状大小不同的制品或构件;④混凝土与钢筋具有良好的粘结力和相近的热膨胀系数,两者可结合在一起共同工作,制成钢筋混凝土构件和结构,利用钢筋抗拉强度的优势弥补混凝土脆性弱点,利用混凝土的碱性保护钢筋不生锈,从而大大扩展了混凝土的应用范围。混凝土的主要缺点有:①抗拉强度低;②受拉时变形能力小,易开裂;③自重较大等。此外,混凝土原材料品质及混凝土配合成分的波动以及施工工艺的差别,均会影响混凝土的质量,故施工过程中需要严格控制施工质量。

1.1.4.2 混凝土的主要技术性能

混凝土是目前建筑工程中应用最广、使用量最大的建筑用材,其原因在于混凝土具有一系列优异的物理力学性能,主要包括混凝土拌和物的和易性,硬化后混凝土的强度、耐久性及变形性能等。

1.1.4.2.1 和易性的概念

和易性是指混凝土拌和物在一定的施工条件下,便于施工操作并能获得质量均匀、浇筑密实的性能。由于混凝土施工包括拌和、运输、浇灌、振捣等不同工序,它们分别对混凝土提出了不同的要求。因此,和易性是一项综合、复杂而又相当模糊的技术性质,其内容包括流动性、粘聚性和保水性三方面的含义。

流动性是指混凝土拌和物在本身自重或施工机械振捣的作用下,能产生流动,并均匀密实地填满模板的性能,流动性的大小直接影响着施工振捣的难易。

粘聚性是指混凝土拌和物在施工过程中其组成材料之间具有一定的粘聚力,不致产生分层离析的现象。粘聚性不好的拌和物,石子与砂浆容易离析,振捣后会出现蜂窝、麻面、孔洞等现象。

保水性是指混凝土拌和物在施工过程中具有一定的保水能力,不致产生严重的泌水现象。水泥中水分渗出的地方容易形成透水的孔隙,而且在水分泌出的过程中会在石子下面形成薄水层,减弱水泥浆与石子的粘结能力,影响混凝土的密实性,降低混凝土质量。

由此可见,混凝土拌和物的流动性、粘聚性和保水性有其各自的内容,而它们之间既有联系又存在矛盾。一般来说,流动性大的拌和物,其粘聚性和保水性相对较差。所谓和易性良好就是流动性、粘聚性和保水性三方面性质在某种具体条件下达到的最佳平衡点。

1.1.4.2.2 和易性测定方法与指标

由于和易性内容复杂,到目前为止,还没有能够全面反映混凝土拌和物和易性的确切指标和测定方法。目前对流动性测定采用定量测定,粘聚性和保水性则根据经验定性地判断和评定。

1. 坍落度法

坍落度的测定是将混凝土拌和物按规定的方法装入高300mm的标准圆锥筒内,分层浇筑并振捣,到筒顶时抹平,然后将筒垂直提起,拌和物在自身质量作用下产生一定的坍



落，如图 1.2 所示，坍落的毫米数称为坍落度。坍落度越大，表明流动性越大。坍落度大于 10mm 的称为塑性混凝土，坍落度小于 10mm 的称为干硬性混凝土。根据坍落度大小对混凝土拌和物分级，见表 1.1。在测定坍落度的同时，应检查混凝土的粘聚性与保水性。粘聚性检查时用捣棒在已坍落的拌和物锥体一侧轻轻拍打，若拍打时锥体均匀下沉，表示粘聚性良好；如果锥体突然倒塌、部分崩裂或发生石子离析，则表示粘聚性不好。保水性则以混凝土拌和物中稀浆析出的程度评定。提起坍落筒后，如有较多稀浆从底部析出，拌和物锥体因失浆而骨料外露，表示拌和物的保水性较差。如提起坍落筒后，无稀浆析出或仅有少量稀浆自底部析出，混凝土锥体含浆饱满，则表示混凝土拌和物保水性良好。

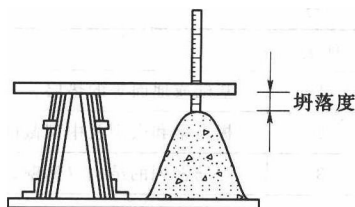


图 1.2 坍落度测试图

表 1.1 混凝土按坍落度的分级

级 别	名 称	坍落度 (mm)	级 别	名 称	坍落度 (mm)
T ₁	低塑性混凝土	10~40	T ₄	大流动性混凝土	150~190
T ₂	塑性混凝土	40~90	T ₅	流态混凝土	190~220
T ₃	流动性混凝土	90~150			

2. 维勃稠度法

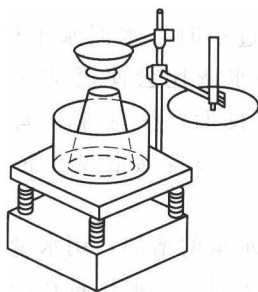


图 1.3 维勃稠度仪

对于干硬性混凝土拌和物（坍落度值小于 10mm）通常采用维勃稠度仪（见图 1.3）测定其稠度（维勃稠度，其级别用 V 表示）。开始在坍落度筒中按规定方法装满拌和物，提起坍落度筒，在拌和物试体顶面放一透明圆盘，开启振动台，同时用秒表计时，到透明圆盘的底面完全为水泥浆所布满时，停止振动，并记录时间，所记录秒数，称为维勃稠度。该法适用于骨料最大径粒不超过 40mm，维勃稠度在 5~30s 之间的混凝土拌和物稠度测定，根据维勃稠度对混凝土的分级见表 1.2。

表 1.2 混凝土按维勃稠度的分级

级 别	名 称	维勃稠度 (s)	级 别	名 称	维勃稠度 (s)
V ₀	超干硬性混凝土	≥31	V ₂	干硬性混凝土	20~11
V ₁	特干硬性混凝土	30~21	V ₃	半干硬性混凝土	10~5

3. 坍落度的选择

选择混凝土拌和物的坍落度，应根据构件截面大小、钢筋疏密程度和捣实方法来确定。当构件截面尺寸较小、钢筋较密或采用人工振捣时，坍落度应选择大些。若构件截面尺寸较大、钢筋较疏或采用振捣器振捣时，坍落度应选择小些。按 GB 50204—92《混凝土结构工程施工及验收规范》的规定，混凝土浇筑时的坍落度可参考表 1.3 选用。



表 1.3

混凝土浇筑时的坍落度

项次	结 构 种 类	坍落度 (mm)
1	基础或地面等的垫层、无配筋的大体积结构 (挡土墙、基础等) 或配筋稀疏的结构	10~30
2	板、梁和大型及中型截面的柱子等	30~50
3	配筋密列的结构 (薄壁、斗仓、筒仓、细柱等)	50~70
4	配筋特密的结构	70~90

注 表 1.3 系指采用机械振捣的坍落度, 采用人工捣实时可适当增大。

4. 影响混凝土和易性的主要因素

为了满足具体工程的需要, 必须掌握和易性的变化规律, 能动地调整混凝土和易性。影响混凝土拌和物和易性的因素主要有: 水泥浆用量、水灰比大小、砂率、原材料种类等。

(1) 水泥浆用量。混凝土拌和物中的水泥浆充填了骨料的空隙, 又包裹在骨料表面形成润滑层, 减弱骨料之间摩擦力, 使混凝土拌和物具有一定的流动性。在水灰比不变的情况下, 水泥浆用量愈大, 拌和物的流动性愈大。但若水泥浆用量过多, 将会出现流浆现象, 使拌和物的粘聚性变差, 同时对混凝土的强度与耐久性也会产生不利影响, 因此混凝土拌和物中水泥浆的含量应以满足流动性要求为度。

(2) 水灰比。水灰比决定了水泥浆的稠度。在水泥用量不变的情况下, 水灰比愈小, 水泥浆愈稠, 拌和物的流动性愈小, 粘聚性较好。当水灰比过小时, 水泥浆干稠, 混凝土拌和物的流动性过低, 施工困难, 混凝土不易密实。增加水灰比会使流动性加大, 但水灰比过大, 又会造成混凝土拌和物的粘聚性、保水性不良而产生流浆、离析现象, 并严重影响混凝土的强度。所以水灰比不能过大或过小。一般普通混凝土常用水灰比为 0.40~0.70。

无论是提高水灰比或增加水泥浆用量, 最终都表现为混凝土用水量的增加, 用水量是决定混凝土拌和物流动性的基本因素。当使用确定的材料拌制混凝土时, 水泥用量在一定范围内变化, 为达到一定流动性, 所需加水量为一常值, 常称为单位用水量。混凝土单位用水量可根据选定的坍落度, 参考表 1.4 选用。但应指出, 在试拌混凝土时, 不能用单纯改变用水量的办法来调整混凝土拌和物的流动性。因单纯加大用水量会降低混凝土的强度和耐久性。因此, 应该在保持水灰比不变的条件下用调整水泥浆用量的办法来调整混凝土拌和物的流动性。

流动性、大流动性混凝土的用水量可参考表 1.4 中坍落度 90mm 的用水量为基础, 按坍落度每增大 20mm 用水量增加 5kg, 计算出不掺外加剂时的混凝土的用水量。

路面混凝土用水量应按骨料的种类、最大粒径、级配、施工温度和掺用外加剂等通过试验确定。粗骨料最大粒径为 40mm, 粗、细骨料均干燥时, 混凝土的单位用水量应按下列经验数值采用: 当用碎石时为 150~170kg/m³; 当用卵石时为 140~160kg/m³; 掺用外加剂或掺合料时, 应相应增减用水量。

(3) 砂率。砂率是指混凝土中砂的质量占砂石总量的比例。砂率的变化直接影响着骨料的空隙率和骨料的总表面积, 因而对混凝土拌和物的和易性产生显著的影响。



表 1.4

干硬性和塑性混凝土的用水量

单位: kg/m^3

拌和物稠度		卵石最大粒径 (mm)				碎石最大粒径 (mm)			
项目	指标	10	20	31.5	40	16	20	31.5	40
维勃稠度 (s)	15~20	175	160		145	180	170		155
	10~15	180	165		150	185	175		160
	5~10	185	170		155	190	180		165
坍落度 (mm)	10~30	190	170	160	150	200	185	175	165
	30~50	200	180	170	160	210	195	185	175
	50~70	210	190	180	170	220	205	195	185
	70~90	215	195	185	175	230	215	205	195

- 注 1. 本表用水量系用中砂时的平均取值, 采用细砂时, 混凝土用水量可增加 $5 \sim 10 \text{kg}/\text{m}^3$, 采用粗砂则可减少 $5 \sim 10 \text{kg}/\text{m}^3$ 。
2. 掺用各种外加剂或掺合料时, 用水量应适当调整。
3. 水灰比小于 0.4 或大于 0.8 的混凝土以及采用特殊成型工艺的混凝土用水量应通过试验确定。
4. 本表摘自 JGJ 55—2000《普通混凝土配合比设计规程》。

砂率过大时, 骨料的总表面积及孔隙率都会增大, 在水泥浆数量不变的情况下, 骨料表面的水泥浆层变薄, 减弱了水泥浆的润滑作用, 从而使混凝土拌和物的流动性减小。砂率过小, 又不能保证在粗骨料之间有足够的砂浆层, 也会降低混凝土拌和物的流动性, 而且会严重影响其粘聚性和保水性, 容易造成离析、流浆等现象。因此, 砂率有一个合理值。当采用合理砂率时, 在用水量及水泥用量一定的情况下, 能使混凝土拌和物获得最大的流动性, 且能保持良好的粘聚性和保水性, 如图 1.4 所示。另外, 采用合理砂率时, 能使混凝土拌和物获得较好的流动性及良好的粘聚性与保水性, 如图 1.5 所示。

影响合理砂率大小的因素很多, 主要有石子最大粒径、级配、骨料表面光滑程度等。砂的细度模数较小时, 混凝土的粘聚性容易得到保证, 故可采用较小的砂率; 水灰比较小、水泥浆较稠时, 由于混凝土的粘聚性较易得到保证, 故可采用较小的砂率; 施工要求的流动性较大时, 粗骨料常易出现离析, 需采用较大的砂率; 当掺用引气剂或减水剂等外加剂时, 可适当减小砂率。由于影响合理砂率的因素很多, 不可能用计算的方法得出准确的合理砂率, 一般在保证拌和物不离析, 易于浇筑、捣实的条件下, 应尽量选用较小的砂率, 达到节约水泥的目的。对于混凝土用量大的工程应通过试验找到合理砂率, 如无使用经验可按骨料的品种、规格及混凝土的水灰比值参照表 1.5 选用。表 1.5 适用于坍落度大

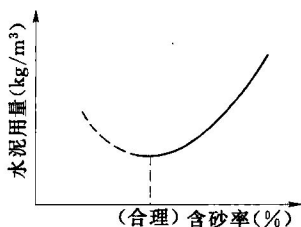


图 1.4 含砂率与坍落度的关系曲线
(水与水泥用量为一定)

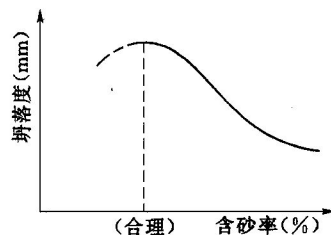


图 1.5 含砂率与水泥用量的关系曲线
(坍落度一定, 水灰比一定)



于 10mm，且不小于 60mm 的混凝土。

表 1.5 混凝土的砂率 单位：%

水灰比 (W/C)	卵石最大粒径 (mm)			碎石最大粒径 (mm)		
	10	20	40	16	20	40
0.40	26~32	25~31	24~30	30~35	29~34	27~32
0.50	30~35	29~34	28~33	33~38	32~37	30~35
0.60	33~38	32~37	31~36	36~41	35~40	33~38
0.70	36~41	35~40	34~39	39~44	38~43	36~41

注 1. 本表数值系中砂的选用砂率（%，下同），对细砂或粗砂，可相应地减少或增加砂率。

2. 只用一个单粒级骨料配制混凝土时，砂率应适当加大。

3. 对薄壁构件砂率取较大值。

坍落度大于 60mm 的混凝土在选定砂率时，应经试验确定，也可在表 1.5 的基础上，按坍落度每增大 20mm，砂率增大 1% 的幅度予以调整；坍落度小于 10mm 的混凝土，其砂率应经试验确定。

砂率对于泵送混凝土的泵送性能影响很大，且泵送混凝土的管道除直管外，尚有弯管、锥形管和软管，当混凝土通过这些管道时要发生形状变化，砂率低的混凝土和易性差，变形困难，不易通过，易产生阻塞。因此泵送混凝土的砂率比普通混凝土的砂率应高 2%~5%，石子粒径偏小时，宜取下限值；石子粒径偏大时，宜取上限值。

学习单元 1.2 混凝土原材料的选择

1.2.1 学习目标

对于不同性能的混凝土，对原材料的要求是不相同的，应根据不同性能混凝土掌握其对构成原材料的要求。外加剂和掺合料也会对混凝土的性质产生影响，但主要为水泥、砂子和石子。对水泥而言，其化学性能和物理指标对混凝土性能影响较大；而骨料则是颗粒级配和杂质的含量对混凝土性能的影响。对有特殊要求的混凝土，应采用添加外加剂的办法改变其性能。

1.2.2 学习任务

掌握水泥的分类方法、分类的依据、品牌的选用、水泥的硬化及水泥的技术指标对混凝土结构的影响；混凝土结构对砂子的物理指标要求、有害物质对砂子的性能影响、砂子的细度模数的计算以及不同细度模数在工程中的应用；石子的最大粒径、颗粒级配、超逊径对混凝土质量的影响；在特殊环境下，混凝土需添加外加剂，掌握不同性能外加剂对混凝土的性能改善。

1.2.3 任务分析

建筑工程中使用的混凝土有多种形式，不同性能的混凝土对其原材料的要求是不同的，但其组成材料主要为：水泥、骨料、水和外加剂或掺合料。对于水泥，应掌握其物理指标、凝结硬化机理、使用与保管；骨料应明确规范对其物理指标、有害物质含量、级配、坚硬程度、最大粒径等的要求；外加剂应明确其适应条件和使用方法。



1.2.4 任务实施

1.2.4.1 水泥选择

配制混凝土一般可选用硅酸盐水泥、普通硅酸盐水泥、矿渣水泥、火山灰水泥和粉煤灰水泥。在特殊地方可以选用快硬水泥或其他水泥。在选用水泥时，应根据工程特点和所处的工程环境条件，参照以下条件进行选择。

1. 水泥分类

(1) 硅酸盐水泥。根据国家标准 GB 175—1999《硅酸盐水泥、普通硅酸盐水泥》规定，凡由硅酸盐水泥熟料、0~5%石灰石或粒化高炉矿渣、适量石膏磨细制成的水硬性胶凝材料，称为硅酸盐水泥（即国外统称的波特兰水泥）。硅酸盐水泥分为两类：不掺混合材料的称为Ⅰ型硅酸盐水泥，代号 P·I；在硅酸盐水泥粉磨时，掺入不超过水泥质量 5% 的石灰石或粒化高炉矿渣混合材料的称为Ⅱ型硅酸盐水泥，代号 P·II。硅酸盐水泥是工程建设中使用最多的水泥。以后在介绍混凝土工程时主要介绍硅酸盐水泥混凝土。硅酸盐水泥组成矿物成分及含量见表 1.6。硅酸盐水泥的强度等级为 42.5、42.5R、52.5、52.5R、62.5、62.5R 六种。

表 1.6 硅酸盐水泥的各矿物组成和含量

组 成	C ₃ S	C ₂ S	C ₃ A	C ₄ AF
含量 (%)	37~60	15~37	7~15	15~18
性 质	快	慢	最快	快
	大	小	最大	中
	高	早期低、后期高	低	低

(2) 普通硅酸盐水泥（简称普通水泥）。国家标准 GB 175—1999 规定，凡由硅酸盐水泥熟料、6%~15% 的混合材料、适量石膏磨细制成的水硬性胶凝材料称为普通硅酸盐水泥（简称普通水泥），代号 P·O。普通水泥在掺加混合材料时，掺入的活性混合材料最大掺量不超过 15%，掺入的非活性材料最大掺量不超过水泥质量的 10%。由于普通水泥是由硅酸盐水泥熟料和少量混合材料组成，所以各项性能都与硅酸盐水泥相近。但早期强度略有降低，抗冲及耐冲磨性能稍差。普通硅酸盐水泥等级为 32.5、32.5R、42.5、42.5R、52.5、52.5R 六种。

(3) 矿渣硅酸盐水泥（简称矿渣水泥）。由硅酸盐水泥熟料和粒化高炉矿渣，加入适量石膏磨细制成的水硬性胶凝材料，称为矿渣硅酸盐水泥（简称矿渣水泥），代号 P·S。按重量计，水泥中粒化高炉矿渣掺量为 20%~70%。允许用石灰石、窑灰、粉煤灰等混合材料中的一种材料代替矿渣，代替数量不得超过水泥质量的 8%，替代后水泥中高炉矿渣不得少于 20%。矿渣硅酸盐水泥的强度等级为 32.5、32.5R、42.5、42.5R、52.5、52.5R 六种。

(4) 火山灰质硅酸盐水泥（简称火山灰水泥）。由硅酸盐水泥和火山灰质混合料，加入适量石膏磨细制成的水硬性胶凝材料，称为火山灰质硅酸盐水泥（简称火山灰水泥），代号 P·P。按重量计火山灰材料掺量为 20%~50%。火山灰质硅酸盐水泥早期强度较低，强度增长较慢，硬化时变形量大，耐磨性较差。火山灰水泥强度等级为 32.5、



32.5R、42.5、42.5R、52.5、52.5R 六种。

(5) 粉煤灰硅酸盐水泥 (简称粉煤灰水泥)。由硅酸盐水泥熟料和粉煤灰加入适量石膏磨细制成的水硬性胶凝材料称为粉煤灰硅酸盐水泥 (简称粉煤灰水泥), 代号 P·F。按重量计, 粉煤灰掺量为 20%~40%。粉煤灰水泥水化热较低, 抗腐蚀性较小, 耐磨性较差。粉煤灰水泥的强度等级为 32.5、32.5R、42.5、42.5R、52.5、52.5R 六种。

2. 水泥的强度等级及各龄期的抗压、抗折强度

根据国家标准 GB 175—1999 及国家标准 GB/T 17671—1999《水泥胶砂强度检验方法》的规定, 不同品种水泥的强度等级及各龄期的抗压、抗折强度见表 1.7。

表 1.7 不同品种水泥的强度等级及各龄期的抗压、抗折强度 单位: MPa

水泥品种	强度等级	抗压强度		抗折强度	
		3d	28d	3d	28d
硅酸盐水泥	42.5	17.0	42.5	3.5	6.5
	42.5R	22.0	42.5	4.0	6.5
	52.5	23.0	52.5	4.0	7.0
	52.5R	27.0	52.5	5.0	7.0
	62.5	28.0	62.5	5.0	8.0
	62.5R	32.0	62.5	5.5	8.0
普通水泥	32.5	11.0	32.5	2.5	5.5
	32.5R	16.0	32.5	3.5	5.5
	42.5	16.0	42.5	3.5	6.5
	42.5R	21.0	42.5	4.0	6.5
	52.5	22.0	52.5	4.0	7.0
	52.5R	26.0	52.5	5.0	7.0
矿渣硅酸盐水泥和 火山灰质硅酸盐水泥	32.5	10.0	32.5	2.5	5.5
	32.5R	15.0	32.5	3.5	5.5
	42.5	15.0	42.5	3.5	6.5
	42.5R	19.0	42.5	4.0	6.5
粉煤灰硅酸盐水泥	52.5	21.0	52.5	4.0	7.0
	52.5R	23.0	52.5	4.5	7.0

注 带 R 为早强型, 不带 R 为普通型。

3. 硅酸盐水泥的技术要求

按照国家标准 GB 175—1999 的相关规定, 硅酸盐水泥的主要技术要求如下。

(1) 细度。细度是指水泥颗粒的粗细程度, 可用筛分析法和透气法测定。水泥的细度大小对水泥水化时的需水量、凝结时间、强度和安定性等物理指标都有严重的影响。颗粒愈细, 水化时与水接触反应的比表面积愈大, 水化活性愈高, 水化反应速度愈快, 水泥石的早期强度也愈高, 但水泥细度太大, 硬化时的收缩也愈大, 且水泥在储运过程中易受潮而降低活性。因此, 水泥细度应适当, 根据国家标准 GB 175—1999 规定, 硅酸盐水泥要



求其细度比表面积应大于 $300\text{m}^2/\text{kg}$ 。

(2) 氧化镁、三氧化硫、碱及不溶物含量。水泥中氧化镁 (MgO) 含量不得超过 5%。如果水泥经蒸压安定性试验合格, 则允许放宽到 6%。三氧化硫 (SO_3) 的含量不得超过 3.5%。水泥中碱含量按 $\text{Na}_2\text{O}+0.658\text{K}_2\text{O}$ 计算值来表示。水泥中碱含量过高易产生碱—骨料反应, 影响工程质量, 对工程造成危害。若使用活性骨料, 用户要求提供低碱水泥时, 水泥中碱含量不得大于 0.60%。对于不溶物的含量, 在 I 型硅酸盐水泥中不得超过 0.75%; 在 II 型硅酸盐水泥中不得超过 1.5%。

(3) 烧失量。烧失量是指水泥在一定灼烧温度和时间内, 损失量占原质量的百分数。I 型水泥的烧失量不得大于 3.0%; II 型水泥的烧失量不得大于 3.5%。

(4) 标准稠度用水量。标准稠度用水量是指水泥净浆达到标准稠度时所需的拌和需水量, 以需水量占水泥重量的百分数表示。标准稠度用水量可通过实验取得。硅酸盐在测定水泥凝结时间、体积安定性等性能时, 为使所测结果有准确的可比性, 规定在试验时所用的水泥净浆必须以标准方法测试, 并达到统一规定的浆体可塑性程度 (即标准稠度)。硅酸盐水泥的标准稠度用水量一般为 24%~30%。

(5) 凝结时间。按 GB/T 1346—2001《水泥标准稠度用水量、凝结时间、安定性检验方法》规定的方法测定。水泥的凝结时间对施工的影响较大, 水泥的初凝不早于 45min, 以便在施工时有足够的时间完成混凝土的搅拌、运输、浇捣和砌筑等施工工序操作; 水泥的终凝不得迟于 6.5h, 以便增加混凝土早期强度, 及时拆模, 降低工程造价。

(6) 体积安定性。水泥体积安定性简称水泥安定性, 是指水泥凝结硬化过程中体积变化的稳定性。体积安定性用沸煮法检验必须合格, 安定性不良的水泥, 在浆体硬化过程易引起开裂、局部隆起等现象, 破坏混凝土结构的整体性, 严重时会导致建筑物破坏。水泥中含有超量的游离氧化钙、氧化镁、三氧化硫及掺入过量石膏, 均会引起水泥安定性不良。国家标准规定, 水泥熟料中游离氧化镁含量不得超过 5.0%, 三氧化硫含量不得超过 3.5%, 安定性不合格的水泥不能用于工程中。

(7) 水化热。水化热是水泥在水化过程中放出的热量, 水泥水化时早期水化热较大, 后期逐渐减小, 通常以焦耳/千克 (J/kg) 表示。水化热的大小及各阶段的放热量主要决定于水泥的矿物组成和细度。熟料矿物中 C_4AF 和 C_3A 的含量愈高, 颗粒愈细, 前期水化热愈大。水化热对大体积混凝土施工不利, 容易在混凝土中产生裂缝, 为了避免由于水化热引起混凝土的开裂, 在大体积混凝土工程施工中, 一般采用低热水泥或采取降温措施。

4. 水泥的凝结硬化

(1) 硅酸盐水泥熟料的水化。硅酸盐水泥熟料加水拌和后, 在常温下, 四种主要熟料矿物与水反应如下:

1) 硅酸三钙 (C_3S) 的水化。



2) 硅酸二钙 (C_2S) 的水化。

